

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift
Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)
ISSN 1603-9696
www.trafikdage.dk/artikelarkiv



Fastlæggelse af sikkerhedstider i trafiksignalanlæg

Steen Merlach Lauritzen, ste@vd.dk
Vejdirektoratet

Mogens Møller, mm@viatrafik.dk
Via Trafik

Morten Lind Jensen, mlj@viatrafik.dk
Via Trafik

Abstrakt

Som grundlag for beregning af sikkerhedstider og valg af mellemtider benyttes vejledende dimensionerende hastigheder (for tidligste og seneste trafikant) samt passagetid efter grønt jf. Tabel 7-3 i *Håndbog om Vejsignaler* (Vejdirektoratet, 2013). Bortset fra fodgængerhastigheder har disse parameterværdier stået uændret siden 1985, hvor den første vejregel om signalanlæg blev publiceret. Dette har været baggrunden for, at vejregelgruppen 'IT på vej' ønskede en revurdering af de vejledende værdier til beregning af sikkerhedstider i trafiksignalanlæg.

Formålet med projektet "Fastlæggelse af sikkerhedstider i trafiksignalanlæg" har været dels igennem et litteraturstudie at vurdere de danske parameterværdier i forhold til vore nabolandes værdier og dels ud fra nutidige systematiske målinger at komme med forslag til justering af nuværende værdier og metode, så sikkerheds- og mellemtider kan fastlægges mere korrekt ift. konkret trafikantadfærd afhængig af krydstype, signalreguleringsform m.m.

Projektet er udmundet i en vejregelforberedende rapport, som er udarbejdet for vejregelgruppen 'IT på vej' af vejregelkonsulent Via Trafik Rådgivning A/S i samarbejde med Aalborg Universitet (AAU) v/ Harry Lahrman. Rapporten er tilgængelig på vejregelportalen under 'Viden og dokumentation'.

Baggrund og formål

I Bekendtgørelse om står der, at sikkerhedstiden skal være så lang, at den sidste dimensionsgivende trafikant efter grønt netop går fri af den tidligste dimensionsgivende trafikant, som starter for grønt fra den krydsende retning.

Bekendtgørelse om anvendelse af vejafmærkning § 228 – Sikkerhedstider

"Sikkerhedstiden skal være så lang, at den sidste dimensionsgivende trafikant efter grønt netop går fri af den første (tidligste) dimensionsgivende trafikant, som starter for grønt fra den krydsende retning. Længden af sikkerhedstiden afhænger af krydsets geometri, de konfliktende trafikstrømmes hastighed samt start og stop ift. signalskift."

Kilde: BEK nr. 1194 af 21.09.2016 (Transport- og Bygningsministeriet, 2016)

For at omsætte denne formulering til en sikkerhedstid er det nødvendigt at opstille fire forudsætninger for de konfliktende trafikanters adfærd:

1. Hvornår i gultiden den sidste trafikant passerer stoplinjen,
2. Minimumshastigheden for den seneste trafikant,
3. Maxhastigheden for den tidligste trafikant,
4. Hvornår den tidligste trafikant passerer stopstregen ift. rød-gult signal.

Ad (1): Her siger bekendtgørelsen: *"Gult lys betyder stop. Det angiver, at signalet snart vil skifte til rødt, men har i øvrigt samme betydning som rødt. Kørende skal dog ikke standse, hvis de, når signalet skifter fra grønt til gult, er nået så langt frem, at standsning vil medføre fare."* Det er altså altid en vurderingssag for den enkelte trafikant at afgøre, om man vil standse eller fortsætte.

Ad (2 og 3): Der findes hastighedsgrænser for vejene, der angiver maxhastigheden, men ikke en minimumshastighed, som trafikanterne skal overholde.

Ad (4): Her siger bekendtgørelsen, at *"Rødt lys og gult lys samtidig betyder stop. Rødt og gult lys samtidig har samme betydning som rødt lys, men angiver tillige, at signalet snart vil skifte til grønt."* Altså er det ikke lovligt at køre ind i krydset, før der er grønt.

Desværre er det derfor ikke muligt at opstille forudsætninger, så der er garanti mod ulykker, hvis alle blot kører lovligt. Men ved dimensionering af sikkerhedstiderne er det alligevel nødvendigt at vælge en adfærd, der lægges til grund for beregning af sikkerhedstiderne.

I de nuværende vejregler lægges det til grund, at den tidligste trafikant kører med 13 m/s (svarende til ca. 47 km/h) og netop overholder det rød-gule lys – den seneste trafikants adfærd er derimod baseret på branchepraksis.

Målet med dette projekt har dels igennem et litteraturstudie og dels igennem et studie af trafikantadfærd i en række danske signalregulerede kryds været at undersøge såvel den tidligste og den seneste trafikantadfærd med henblik på at vurdere de eksisterende anbefalinger, herunder komme med forslag til eventuelle ændringer i anbefalingerne.

Metode

Undersøgelsen omfatter følgende trafikantadfærd:

1. Svingende biltrafik i bundet og ikke-bundet sving under hensyn til skiltet hastighed, antal vognbaner samt vinkler mellem til- og frafarter.
2. Ligeudkørende cyklister under hensyn til gradienter, hhv. tidlig opstart og afslutning af cyklistsignal samt cykeltype (elcykel, knallert o.lign.).
3. Ligeudkørende biltrafik under hensyn til skiltet hastighed og antal vognbaner.
4. Venstresvingende cyklister, der kører frem i krydsets fjerne højre hjørne og dér gør ophold.

Litteraturstudie:

Som en del af undersøgelsen har Via Trafik gennemført et litteraturstudie for at afdække, hvordan sikkerheds- og mellemtider i signalanlæg fastlægges i udlandet. Litteraturstudiets fokus har været på at redegøre for metoderne i lande, hvor de trafikale forhold antages at være umiddelbart sammenlignelige med Danmark. Sammenligningen har omfattet nabolandene Norge, Sverige og Tyskland.

Beregningsprincipperne for sikkerheds- og mellemtider i de respektive lande er undersøgt ved en systematisk gennemgang af relevant litteratur svarende til de danske vejregelhåndbøger.

Adfærdsstudie:

Den adfærdsmæssige undersøgelse omfatter videoregistrering af trafikantadfærd, som er foretaget vha. "Watch dog"-softwaren RUBA (Road User Behaviour Analysis) udviklet på AAU.

Adfærdsobservationerne er anvendt til at kortlægge de parametre, der ønskes fastlagt som grundlag for dimensionering af sikkerheds- og mellemtider i signalanlæg. Desuden er adfærdsobservationerne benyttet til at opdage særlig trafikantadfærd, og om anlæggene benyttes efter hensigten.

Til undersøgelsen er der udvalgt 20 repræsentative signalkryds som grundlag for en dybdegående og detaljeret analyse af trafikantadfærden. Udvælgelsen af krydsene er sket i samarbejde med vejregelgruppen samt Aarhus Kommune, Københavns Kommune og Vejdirektoratet, der har bidraget med sparring og udpegning af lokaliteter med særlig relevans for nærværende opgave samt med foreliggende signalteknisk og trafikal dokumentation.

Grundlæggende har adfærdsobservationernes fokus været at kortlægge følgende parametre for motorkøretøjer og cyklister:

- Passagetid efter grønt, T_E (sek.), og rømningshastighed, V_R (m/s), for seneste trafikant, der kører ind i krydset efter skift fra grønt til gult lys
- Indkørselshastighed, $V_{\text{Indkørende}}$ (m/s), for tidligste trafikant, der kører ind i krydset efter skift fra rødt til rødt-gult lys.

Resultater

Der er analyseret følgende parametre i forhold til de fire grupper af trafikantadfærd:

- Passagetid efter grønt, T_E ,
- Hastighed for seneste trafikant, $V_{Rømmende}$
- Hastighed for tidligste trafik, $V_{Indkørende}$

1. Svingende biltrafik i bundet og ikke-bundet sving

- Bundet venstresving (både før- og eftergrønt, samt situationer med hhv. 1 og 2 spor samt ved forskellige hastighedsgrænser)
- Bundet højresving (både 1 og 2 spor samt ved forskellige hastighedsgrænser)
- 1-lys venstresvingsspil
- 1-lys højresvingsspil (både før- og eftergrønt)
- Ubundet svingende trafik (dvs. venstre- og højresving under vigepligt. Der er analyseret situationer med hhv. 1 og 2 ligeudspor samt ved forskellige hastighedsgrænser)

2. Ligeudkørende cyklister

Der er analyseret situationer med:

- Tidlig afslutning af cyklistsignal
- Tidlig indkobling af cyklistsignal
- Ligeudkørende cyklister for hovedsignal
- Ligeudkørsel op og ned ad bakke

3. Ligeudkørende biler

Der er analyseret situationer med hhv. 1, 2 og 3 spor samt ved forskellige hastighedsgrænser.

4. Venstresvingende cyklister

Der kører frem i krydsets fjerne højre hjørne og dér gør ophold.

I de tre følgende afsnit er de overordnede analyseresultater og konklusioner resumeret. På figurene er de gældende værdier jf. vejreglerne markeret med en rød linje.

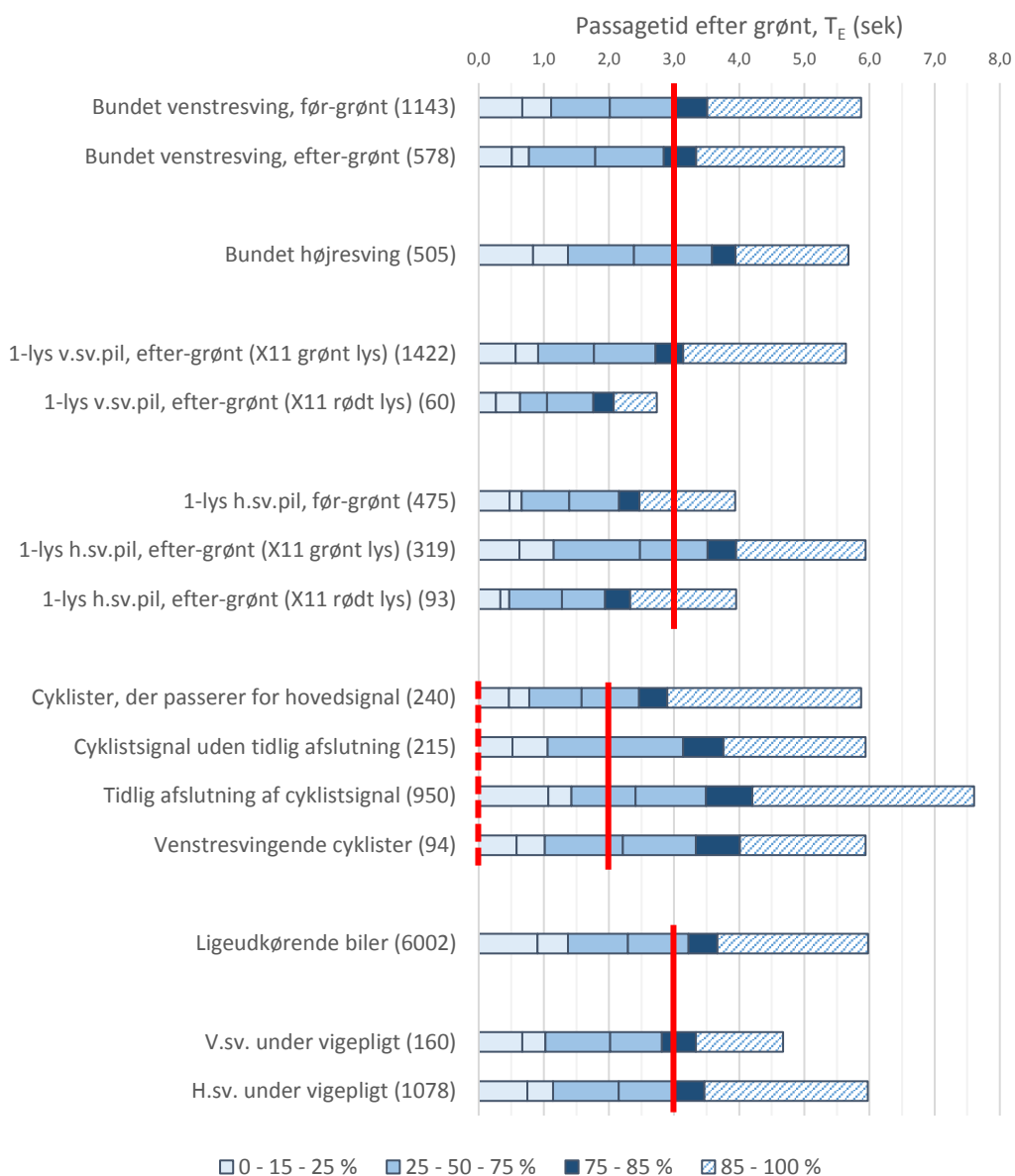
Passagetid efter grønt

For hvert signalskift er det passagetiden for den seneste trafikant, der ligger til grund for beregningerne.

I vurderingen af resultaterne herunder er taget udgangspunkt i 85 %-fraktilen – altså højre kant af de mørkeblå felter på figur 1.

Resultater viser følgende mht. passagetider:

- Ved bundet venstresving er passagetiden for ca. hver fjerde bilist (~25%) større end 3 sek. (som er den beregningsmæssige passagetid for bilister i vejreglerne)
- Ved bundet højresving er passagetiden for ca. hver fjerde bilist (~25%) større end 3,5 sek.
- Ved 1-lys pile er passagetiden ca. 2-4 sek., efter at 1-lys pilen er slukket. Ved rødt hovedsignal kombineret med 1-lys pil, som før- eller efter-grønt, ses de laveste passagetider på ca. 2-2,5 sek. Til sammenligning er passagetiden 3-4 sek., hvor 1-lys pilen slukker samtidig med at hovedsignalet skifter til gult.
- Passagetiden for ligeudkørende cyklister er 2,5 – 4 sek. (hvor vejreglerne i dag angiver hhv. 2 sek. over for kørende og 0 sek. over for fodgængere). Det er tendens til, at cyklisterne er mere tilbøjelige til at respektere hovedsignaler end cyklistsignaler. I målingerne ses en klar sammenhæng mellem sent indkørende cyklister for cyklistsignal og høj rømningshastighed (man kan lige nå med over, hvis man træder lidt kraftigere i pedalerne).
- Passagetiden ved vigepligtsregulerede hhv. højre- og venstresving er målt til ca. 3 sek.
- Venstresvingende cyklister har tendens til at køre sent inde i gultiden (eller over for rødt) for derved at svinge til venstre sammen med opstartende trafikanter fra sideretningen. Passagetiderne ligger typisk på 3-5 sek.

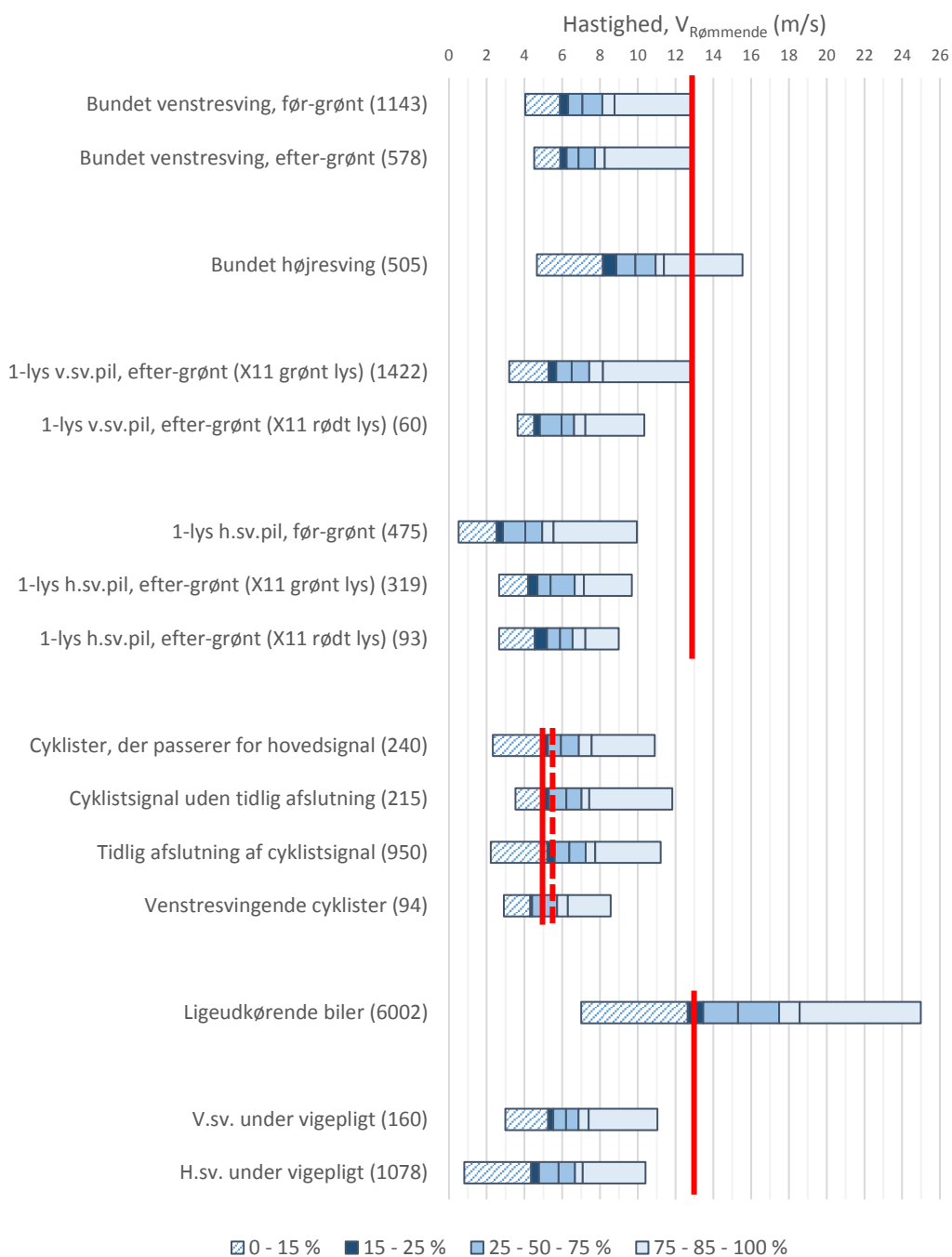


Figur 1: Registrerede fraktiler for passagetid efter grønt, T_E , [sek.] for rømmende trafikanter fordelt på svingmanøvrer og trafikantgrupper. Resultaterne er baseret på i alt 13.300 observationer.

Rømningshastighed

I vurderingen af resultaterne herunder er taget udgangspunkt i 85 %-fraktilen – altså højre kant af de mørkeblå felter på figur 2.

- Rømningshastigheden for bilister ved bundet venstresving er markant lavere end for ligeudkørende bilister. Grænsen for de langsomste 15% af målingerne ligger i intervallet 6 – 8 m/s. Der kan ikke påvises forskelle på situationer med efter-grønt og før-grønt. Derimod er der tendens til, at rømningshastigheden er lidt højere i dynamiske kryds med stor svingradius og flere spor end i mindre kryds, hvor venstresving er mere retvinklet.
- Rømningshastigheden for bilister ved bundet højresving er lavere end for ligeudkørende bilister. Grænsen for de langsomste 15% af målingerne ligger i intervallet 7-11 m/s. Målingerne tyder på, at bundet højresving, som er udformet dynamisk, muliggør højere rømningshastighed, end i mindre dynamisk udformede kryds. Antallet af spor tyder derimod ikke på at øge rømningshastigheden ved bundet højresving.
- Der er stor spredning på hastigheden af de ligeudkørende bilister. De langsomste 15% af rømningshastighederne ligger typisk under 13 m/s (som anvendes i de gældende vejregler). Grænsen for de langsomste 15% af målingerne ligger i intervallet 10 – 14 m/s. Undersøgelsen tyder på, at rømningshastigheden er lavere i kryds med et ligeudspor og 50 km/t, end i større kryds med flere spor og hastighedsgrænse på 60-70 km/t. Endelig er der tendens til, at rømningshastigheden er marginalt højere midt på dagen og aftenen, hvilket kan hænge sammen med, at trafikintensiteten er lavere.
- Det tyder på, at rømningshastigheden ved 1-lys pile er lidt lavere end ved 3-lys (bundne sving). Grænsen for de langsomste 15% af målingerne ligger i intervallet 4-5 m/s. Dette kan muligvis tilskrives et svagere signalbillede samt skarpere kurver i de analyserede kryds.
- Rømningshastigheden for ligeudkørende cyklister har stor spredning. Mange kører hurtigere end de 5 m/s, som der regnes med i vejreglerne (5,5 m/s over for fodgængere) – dog kører ca. 15% langsommere end 5 m/s.
- Venstresvingende cyklister kører generelt langsommere end ligeudkørende cyklister. Ca. 15 % kører under 4 m/s.
- Svingbevægelser under vigepligt for bilister sker langsommere end bundne sving. Grænsen for de langsomste 15% af målingerne ligger i intervallet 4-5 m/s. Dette er forventeligt, da køretøjerne først kan sætte i gang, når der er 'hul' i den trafik, man har vigepligt for.
- Rømningshastighederne for alle svingbevægelserne er markant lavere end for de ligeudkørende biler. Og dermed væsentligt lavere end vejreglernes nuværende beregningsmæssige værdi på 13 m/s.



Figur 2: Registrerede hastighedsfraktiler, $V_{R\ddot{o}mmende}$, [m/s] fordelt på svingmanøvrer og trafikantgrupper. Resultaterne er baseret på i alt 13.300 observationer.

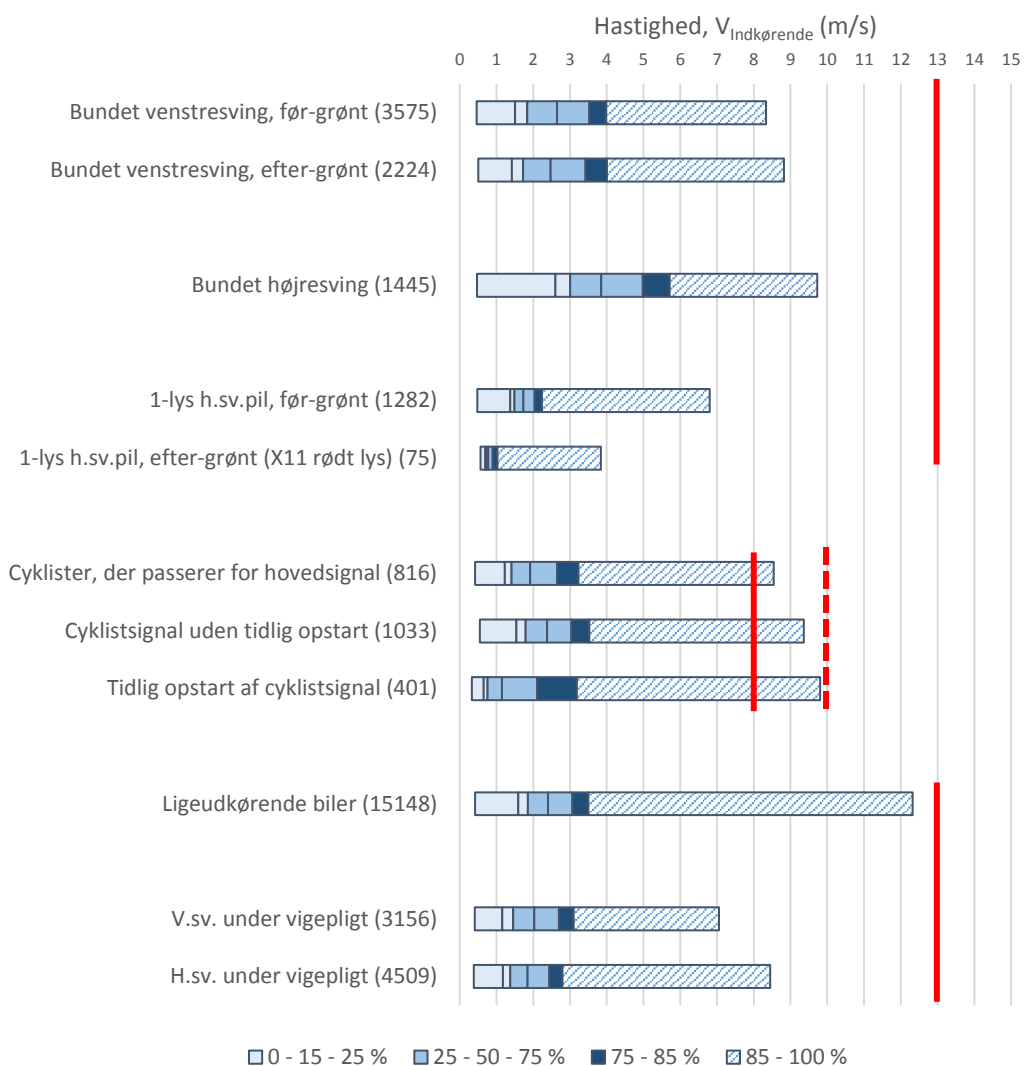
Indkørselshastighed

For indkørselshastigheden er det de hurtigste trafikanter, der er dimensionsgivende.

Vurderingerne herunder tager udgangspunkt i de hastigheder, som 85% af målingerne ligger under.

Målingerne viser følgende:

- Ved bundet venstresving er indkørselshastigheden for 85% målt til 4 m/s. Dog er der stor spredning på de hurtigste 15% af målingerne. Ift. flyvende start er der målt hastigheder på op til 9 m/s. som indkørselshastighed.
- For ligeudkørende er indkørselshastigheden for 85% målt til 3,5 m/s. Dog er der stor spredning på de hurtigste 15% af målingerne. Ift. flyvende start er der målt hastigheder på op til 12,5 m/s (dvs. under de 13 m/s jf. de gældende vejregler).
- For 1-lys højresvingsspil som før-grønt er indkørselshastigheden langsommere end de øvrige situationer. 85% er målt til 2 m/s. Dog er der stor spredning på de hurtigste 15% af målingerne, som er målt op til 7 m/s. Det kan være et udtryk for en langsom igangsætning, efter at pilen er tændt uden forvarsel i form af rød-gult.
- Langt hovedparten af de tidligste cyklister kører langsomt ind i krydset. 85% er målt til 3-4 m/s. Dog er der stor spredning på de hurtigste 15% af målingerne. Der er målt hastigheder op til 10 m/s, som der regnes med i vejreglerne for cyklister over for fodgængere. Overfor kørende anvendes 8 m/s.
- Alle korrigerede målinger ligger under vejreglernes værdi på 13 m/s.



Figur 3: Registrerede hastighedsfraktiler, $V_{\text{INDKØRENDE}}$, [m/s] fordelt på svingmanøvrer og trafikantgrupper. Resultaterne er baseret på i alt 33.700 observationer.

Anbefalinger

Det anbefales, at det eksisterende grundlag for beregning af sikkerhedstider i vejreglen ("Tabel 7-3. Grundlag for beregning af sikkerhedstider") opdateres.

Litteraturstudiet af metoderne fra vore nabolande viser bl.a., at:

- Der i Sverige, Norge og Tyskland anvendes differentierede værdier til fastlæggelse af sikkerheds- og mellemtider i forhold til hastighedsgrænsen.
- Værdierne for indkørsels- og rømningshastighed er ofte lavere end de danske værdier, og disse er hastighedsafhængige i Sverige og Norge.
- Der for passagetid og rømningshastighed skelnes mellem ligeudkørende og svingende trafik.
- Passagetiden i Norge korrigeres for skarpe kurver, gradienter eller smalle kørespor.
- Fodgængeres rømningshastighed er generelt højere i Danmark, hvor der anvendes fra 0,7-1,5 m/s.

De gennemførte målinger af trafikanternes adfærd viser generelt god overensstemmelse med de eksisterende parameterværdier i vejreglerne for indkørende trafikanter, som kører lige ud. Målingerne af indkørende viser, at 13 m/s for biltrafik og hhv. 8 og 10 m/s for cyklister er lidt på den sikre side. Der skal dog tages hensyn til de situationer, hvor der kan forekomme 'flyvende start' – altså første trafikant ankommer i fart.

Flyvende start ved 12,5 m/s er observeret for ligeudkørende bilister ved hastighedsgrænser på 60 km/t og derved, især hvor der er tidlig opstart af cyklistsignal, og hvor krydset/vejgeometri og hastighedsgrænse tilskynder til høj hastighed. Selv om det er meget få trafikanter, der er observeret med 12,5 m/s indkørselshastighed, vurderes dette som kritisk ift. trafiksikkerheden.

Som udgangspunkt bør 13 m/s derfor fastholdes som dimensionsgivende indkørselshastighed for kryds med hastighedsgrænse på 60 km/t og derved.

For kryds med hastighedsgrænse på 50 km/t og derunder kan anvendes lavere indkøringshastighed, som det også er praksis i nabolandene.

For svingende trafik viser målingerne samstemmende, at indkøringshastigheden er væsentligt lavere, hvorfor man med fordel kan skelne mellem ligeudkørende og svingende trafik ved fastlæggelse af indkøringshastighed.

Passagetiderne og hastighederne for de rømmende trafikanter foreslås justeret. Målingerne tyder på, at trafikanter i flere situationer er tilbøjelige til at passere senere efter skift til gult, end de nuværende værdier fastlægger i vejreglerne, og at de langsomste 15% har betydelig lavere hastighed. Samtidig viser målingerne, at værdierne varierer, alt efter om der er tale om ligeudkørende eller svingende trafik.

På baggrund af litteraturstudiet og analyseresultaterne anbefales værdierne i den følgende tabel:

Vejledende dimensioneringstal ved beregning af sikkerhedstider	Tidligste trafikant, der passerer stoplinjen	Seneste trafikant, der passerer stoplinjen	
	Hastighed $V_{\text{INDKØRENDE}}$ (m/sek.)	Hastighed $V_{\text{RØMMENDE}}$ (m/sek.)	Passagetid $T_{\text{Efter grønt}}$ (sek.)
Bil (altid 8 m lang - dog 0 m over for gående)			
Bundet venstresving (før-grønt)	10	6 ¹⁾	3,5
Bundet venstresving (efter-grønt)	10	6 ¹⁾	3,5
Bundet højresving	10	8 ¹⁾	3,5
Ligeudkørende og ubundet svingende biltrafik			
40 km/h	11	11	3,5
50 km/h	11	11	3,5
60 km/h	13	13	4,0
70 km/h	13	13	4,0
1-lys venstresvingsspil	2)	-	-
1-lys højresvingsspil (før-grønt)	3)	4)	4)
1-lys højresvingsspil (efter-grønt)	5)	6)	6)
Cykel over for kørende (cykel altid 0 m lang)	8 ⁷⁾	5 ^{8), 9)}	3,5
Cykel over for fodgænger (cykel altid 0 m lang)	10 ¹⁰⁾	5,5 ¹⁰⁾	0 ¹⁰⁾
Fodgængere ¹¹⁾	2,5	0,7 – 1,5	0

Tabel 1: Resultater fra undersøgelsen af trafikantadfærd. Baseret på 13.300 målinger for seneste trafikant og 33.700 målinger for tidligste trafikant.

Noter:

- 1) Ved dynamisk udformede bundne venstre- og højresving med vinkel under 90 grader, eller ved kurveradius ≥ 50 m, anbefales det at bruge en højere hastighed (f.eks. +2 m/s).
- 2) 1-lys venstresvingsspil benyttes hovedsageligt som "efter-grønt". Den tidligste trafikant vil da kunne holde fremme ved konfliktpunktet med de modkørende (under vigepligt). Denne parameter bliver dermed ikke relevant.
- 3) Når 1-lys højresvingsspil benyttes som før-grønt, sker indkoblingen under rødt hovedsignal, hvor de højresvingende først skal sætte i gang fra stilstand, når de har erkendt at pilen er tændt. Hastigheden vil derfor være lav.
- 4) Når 1-lys højresvingsspil benyttes som før-grønt, vil der være en tendens til rødkørsel, når pilen slukker. Pilen efterfølges af rød-gult og efterfølgende grønt for de tilhørende hovedsignaler. Stedkendte trafikanter vil ofte aflæse dette, og fortsætte deres højresving, selv om signalet og vigepligtsforholdene skifter. Ved valg af mellemtid bør der være en afvejning mellem risiko for rødkørsler (ved mellemtid større end 2 sek.) ift. synligheden af ligeudkørende cyklister og fodgængere, når vigepligten skifter.
- 5) Når 1-lys højresvingsspil benyttes som efter-grønt, sker indkoblingen under grønt hovedsignal, hvor situationen "blot" skifter fra fremkørsel under vigepligt til fremkørsel uden vigepligt. Hastigheden kan derfor være højere end ved før-grønt. Til gengæld vil den højresvingende kunne holde og afvente ved konfliktpunktet med de medkørende cyklister, hvorved der ikke bliver noget tidsbidrag for den indkørende trafikant at trække fra ved beregningen af sikkerhedstiden.
- 6) Når 1-lys højresvingsspil benyttes som efter-grønt, hvor pilen slukker samtidigt med det tilhørende hovedsignal, vil der være en tendens til længere passagetid for rømmende trafikanter.

- 7) Hvis cykelstien falder mere end 30 % mod stoplinjen, bør der regnes med 10 m/sek. som indkørselshastighed for cyklister.
- 8) Hvor der er mange venstresvingende cyklister, bør der regnes med 4 m/sek. for rømmende cyklister.
- 9) Hvor cykelstien stiger mere end 30 % frem mod stoplinjen, bør der regnes med 4 m/sek. for rømmende cyklister.
- 10) Denne konflikt har ikke indgået i analysen. Det kan ikke på baggrund af denne analyse vurderes, om der bør foretages ændringer i disse værdier.
- 11) Fodgængere har ikke indgået i analysen. Det kan ikke på baggrund af denne analyse vurderes, om der bør foretages ændringer i disse værdier. For nærmere beskrivelser af fodgængerhastigheder henvises til Trafitec-rapporten "*Ganghastigheder*" (Herrstedt, 2008).

Betydning for trafiksikkerhed og kapacitet

Senere passagetider og lavere rømningshastigheder giver længere sikkerhedstider, hvilket betyder mindre kapacitet. Lavere indkørselshastighed trækker i modsatte retning, men har ikke helt samme betydning for kapaciteten.

Afstanden til konfliktpunktet har betydning:

- Hvor den rømmende trafikant har stor afstand til konfliktpunktet (f.eks. ved bundet venstresving), vil rømningshastigheden have stor betydning for sikkerhedstiden og dermed kapaciteten.
- Hvor den indkørende trafikant har lille afstand til konfliktpunktet (f.eks. i forhold til krydsende fodgængere), vil indkørselshastigheden kun have lille betydning for sikkerhedstiden og dermed kapaciteten.
- Passagetiden er uafhængig af afstanden til konfliktpunktet. Ændringer af passagetiden vil dermed betyde tilsvarende ændringer af sikkerhedstiden, da passagetiden indgår som et tillæg ved beregning af sikkerhedstiden. Dermed har passagetiden betydning for kapaciteten.

For ligeudkørende biler vurderes de anbefalede værdier at have marginal påvirkning af kapaciteten.

Passagetiden for cyklister vil have en væsentlig betydning, da det ofte er den seneste cyklist, som er dimensionsgivende.

De anbefalede værdier for bundne sving kan få negativ betydning for kapaciteten, idet disse ofte vil være dimensionsgivende.

Konsekvenserne ift. trafiksikkerhed og kapacitet ved fastlæggelse af de beregningsmæssige værdier bør derfor overvejes nøje. Hvis sikkerhedstiderne alene fastlægges ift. at optimere trafiksikkerheden, vil det resultere i lange mellemtider, hvor trafikanterne oplever at trafikken 'står stille'. Erfaringsmæssigt kan dette medføre, at trafikanternes respekt for gult og rødt lys mindskes, da de vil opleve at kunne "slippe af sted" med at køre over for gult eller rødt lys uden at komme til skade. Desuden vil lange sikkerhedstider reducere krydsets kapacitet markant, hvilket også kan føre til uhensigtsmæssig/ulovlig trafikantadfærd i form af rødkørsler.

Diskussion

I dette afsnit sammenholdes de væsentligste resultater fra litteraturstudiet med resultaterne af målingerne, som en 'diskussion', som leder til svar og anbefalinger ift. problemformuleringen.

Trafiksikkerhed kontra trafikafvikling

Et af de store dilemmaer ift. at fastlægge parametre til beregning af sikkerhedstider er den ønskede vægtning mellem fremkommelighed og trafiksikkerhed – altså, at trafikken skal kunne afvikles tilfredsstillende uden at trafikanterne risikerer at komme til skade.

Dette stiller krav til, at sikkerhedstiderne fastlægges ret præcist, således at trafikanterne akkurat undgår at komme i konflikt, når de kører på lovlig vis (dvs. jf. Færdselslovens bestemmelser) gennem et signalreguleret kryds. Problemet er dog, at dette ikke er muligt - fordi der ikke er en minimumshastighed og en fast grænse for, hvornår trafikanten må køre ind i krydset under gult.

Hvis sikkerhedstiderne alene fastlægges ift. at optimere trafiksikkerheden, vil det resultere i lange mellemtider, hvor trafikanterne oplever at trafikken 'står stille'. Erfaringsmæssigt kan dette medføre, at trafikanternes respekt for gult og rødt lys mindskes, da de vil opleve at kunne "slippe af sted" med at køre over for gult eller rødt lys uden at komme til skade. Desuden vil lange sikkerhedstider reducere krydsets kapacitet markant, hvilket også kan føre til uhensigtsmæssig/ulovlig trafikantadfærd i form af rødkørsler.

Omvendt kan sikkerhedstider, som er baseret på værdier, der ikke afspejler den faktiske trafikantadfærd (ift. indkørsels- og rømningshastighed samt passagetid efter signalet er skiftet fra grønt til gult), føre til øget uheldsrisiko. Målingerne dokumenterer, at passagetid og rømningshastighed for svingende trafik afviger markant fra de nuværende vejregelværdier. Såfremt værdierne ændres i retning af senere passagetid og lavere rømningshastighed (sidstnævnte er praksis i Tyskland), vil det have betydelige konsekvenser for kapaciteten. Dette gælder især for rømningshastigheden, der ofte er dimensionsgivende.

Øvelsen går derfor ud på at afspejle trafikanternes faktiske adfærd, for derigennem at sikre, at lovligt indkørende og rømmende trafikanter ikke kommer til skade. Samtidig skal parametrene ikke tilgode de trafikanter, der kører ulovligt, da dette blot kan føre til, at denne tendens forstærkes yderligere.

I vejreglerne påpeges vigtigheden af, at sikkerhedstid og valgt mellemtid ikke bliver for lang (ud fra en hypotese om at det kan virke kontraproduktivt). Men hvis de beregningsmæssige værdier ligger for langt fra den faktiske adfærd hos trafikanterne, vil det også kunne forringe trafiksikkerheden. Derfor bør værdierne ændres, hvor der er store afvigelser mellem de målte værdier og gældende vejregelparametre.

Ift. trafiksikkerheden vægtes risikoen for 'flyvende start' (dvs. passage af stoplinjen med høj hastighed i det øjeblik signalet skifter fra rødt til grønt) højt i de nuværende vejregler. Dette afspejles i, at indkørselshastigheden er fastsat svarende til, at den første bilist passerer stoplinjen med 13 m/s (uanset hastighedsgrænse), og første cyklist med 8 m/s, i samme øjeblik signalet skifter fra rød-gult til grønt.

I praksis observeres flyvende start sjældent, idet det forudsætter, at:

- Der ikke holder andre trafikanter ved stoplinjen, som venter for rødt lys (hvilket oftest forudsætter, at trafikintensiteten er lav).
- Bilisten kører med 13 m/s (cyklister hhv. 8 m/s over for kørende og 10 m/s over for fodgængere) frem mod rødt eller rød-gult, så passage af stoplinjen koordineres nøjagtigt ift. signalskift til grønt (meget ofte/næsten altid sænker trafikanterne hastigheden, når de nærmer sig stoplinjen for rødt eller rød-gult)

Selvom flyvende start ikke forekommer særligt ofte, kan det være fatalt, såfremt det sker i kombination med, at konfliktende trafikanter ikke når at rømme krydset. En væsentlig del af denne undersøgelse har været at afdække:

- Trafikanternes faktisk indkørselshastighed, herunder situationer med flyvende start.
- Hvilke indkørselshastigheder, der anvendes i vore nabolande til fastlæggelse af sikkerhedstider.

I de nuværende vejregler er rømningshastigheden for bilister 13 m/s og 5 m/s for cyklister (eller lavere afhængig af gradient og antal venstresvingende cyklister). Samtidig er passagetiden fastsat til 3 sek. for bilister samt 2 og 0 sek. for cyklister hhv. over for kørende eller fodgængere.

Imidlertid kan det ofte observeres, at trafikanter kører senere over stoplinjen efter skift til gult (og rødt) – særligt i perioder med trængsel, hvor rømningshastigheden samtidig kan forekomme at være væsentligt lavere 13 m/s. Ikke mindst blandt cyklister synes at være tendens til at køre over for gult (eller rødt).

En væsentlig del af denne undersøgelse, har været at afdække:

- Trafikanternes rømningshastighed i situationer, hvor rømning af signalkrydset ikke er blokeret af trængsel.
- Trafikanternes passagetid efter grønt.
- Hvilke rømningshastigheder og passagetider, der anvendes i vore nabolande til fastlæggelse af sikkerhedstider.

Især rømningshastighed er afgørende for længden af sikkerhedstiden – og dermed for kapaciteten. Det er derfor vigtigt at parametrene fastlægges på det bedst mulige grundlag ift. at opretholde en forsvarlig trafiksikkerhed, uden at sikkerheds- og mellemtiderne bliver så lange, at det forringer trafikafviklingen væsentligt, hvormed trafikanterne (i endnu højere grad) kan miste respekten for signalgivningen.

Er adfærden forskellig for ligeudkørende og svingende trafik?

I de tyske vejregler er der forskellige værdier for svingende og ligeudkørende trafik.

Denne undersøgelse viser, at der er markant forskel i rømningshastigheden for ligeudkørende og svingende trafik. For de ligeudkørende stemmer rømningshastigheden godt overens med gældende vejregelværdier. For svingende trafik ligger rømningshastigheden markant lavere.

For indkørselshastigheden gælder det, at de hurtigste 15 % af de ligeudkørende kører væsentligt hurtigere end de svingende trafikanter. Generelt er indkørselshastighederne lavere end gældende vejregelværdier.

Målingerne viser, at der er nogen forskel i rømningshastigheden mellem bundne sving og sving, der er hhv. reguleret med 1-lyspil og ubundne sving.

Dette kan tale for at differentiere i de danske regler, hvilket ofte har været (uformel) praksis ved f.eks. fastlæggelse af sikkerhedstider for bundne sving.

For ligeudkørende og ubundet svingende trafik til hhv. højre og venstre gælder, at de skal følge de samme hovedsignaler. Samme signalgruppe medfører samme sikkerheds-/ mellemtider, selvom hastigheder, passagetider og vigepligtsforhold er forskellige. Det medfører, at den mest kritiske konflikt bliver dimensionsgivende (typisk ligeudkørende cyklist over for tidligste trafikant fra sideretningen).

Derfor bør parametrene for ligeudkørende og ubundet sving være identiske, men for bunde sving samt 1-lys pilsignaler kan man med fordel differentiere.

Skal flyvende start være dimensionsgivende?

Ja, men ift. nabolandenes praksis kunne det være relevant at se nærmere på, om det er muligt at regne med lavere indkørselshastighed – evt. afhængig af hastighedsgrænsen (som det er tilfældet i Sverige og Norge).

Målingerne viser, at hovedparten af de ligeudkørende trafikanter kører med lavere indkørselshastighed end de nuværende 13 m/s, som er anført i de gældende vejregler.

Selv om flyvende start sjældent er afgørende for den samlede længde af mellemtiden, så kan det være relevant at differentiere og evt. sænke indkørselshastigheden ved hastighedsgrænse under 60 km/t.

Er de beregningsmæssige rømningshastigheder for høje?

I Tyskland anvendes 10 m/s som rømningshastighed for ligeudkørende og 7 m/s for svingende trafik. I Norge sættes rømningshastigheden til 80% af hastighedsgrænsen, mens den i Sverige varierer afhængigt af hastighedsgrænsen.

Denne undersøgelse viser, at rømningshastighederne for svingende trafik er lavere end de gældende vejregelværdier. De langsomste målte trafikanter har endog markant lavere rømningshastighed.

Da rømningshastigheden har stor indflydelse på sikkerhedstidens længde, vil en reduktion af rømningshastigheden for svingende trafik medføre, at kapaciteten reduceres. Derfor bør værdierne vælges, så de svarer til 85 %-fraktilen (den hastighed minimum 85 % af trafikanterne kører med).

Herved tilgodeses trafiksikkerheden for de trafikanter, som kører i gultiden (dvs. at de kun passerer stoplinjen, såfremt de kan nå at rømme krydset).

Har antal spor, sporbredde, krydsudformning samt gradient betydning?

I de norske vejregler anbefales forskellige værdier for skarpe kurver og gradienter.

Denne undersøgelse tyder på, at der er højere rømningshastighed i kryds med flere spor for både ligeudkørende trafik og svingende trafik (med forbehold for betydningen af en højere hastighedsgrænse).

Herudover viser målingerne, at kurveradius og vinkel mellem til- og frafart har betydning for rømningshastigheden for bundne sving. Jo mere dynamisk, desto højere hastighed.

For cyklister viser målingerne, at gradienten har betydning for rømnings- og indkørselshastigheden, som er lavere ved stigning og højere ved fald mod stoplinjen).

Derfor vil det være hensigtsmæssigt, at der tages højde for ovenstående parametre ved valg af beregningsmæssige værdier.

Cyklistsignaler

Kører cyklister forskelligt for hhv. hovedsignaler og cyklistsignaler?

Ja, det viser målingerne. Cyklisters respekt for tidligt afsluttede cyklistsignaler er ret begrænset.

Dette leder til spørgsmålet om, hvorvidt der bør anvendes cyklistsignaler, som afsluttes før hovedsignalet – eller om passagetiden bør differentieres for cyklister ift. om de kører for hovedsignal eller cyklistsignal (som det er praksis i Tyskland).

Såfremt det vælges at øge passagetiden for cyklister fra de eksisterende 2 sek. til 3,5 sek. ved beregningen af sikkerhedstider, vil det have konsekvenser for krydsets kapacitet, der vil blive reduceret som følge af denne ændring.

Påvirker venstresvingende cyklister rømningshastigheden?

I nabolandene differentieres ikke ift. antal venstresvingende cyklister (som det er tilfældet i de gældende danske vejregler). Dette skyldes måske, at andelen af cyklister i vore nabolande er markant lavere end i Danmark.

Undersøgelsen viser, at rømningshastigheden for venstresvingende cyklister er lavere end for ligeudkørende. Derfor giver det god mening fortsat at skelne ift. om der er mange venstresvingende.

Dog viser målingerne, at rømningshastigheden ved mange venstresvingende cyklister på 2,5 m/s er væsentligt under de observerede værdier. Det kan tale for at regne med en lidt højere rømningshastighed for venstresvingende cyklister.

Afviger cyklisters adfærd mellem storbyer og provinsen?

Det har i denne undersøgelse ikke været muligt at afdække, hvorvidt cyklisters adfærd er anderledes i de større byer (herunder Storkøbenhavn og Aarhus) sammenlignet med kryds i provinsen.

En hypotese kunne være, at der er en større andel pendlercyklister i de større byer, som formodentlig er mere stedkendte og har mere rutine, og derfor kører med en højere hastighed.

Giver andelen af hurtigkørende cykler anledning til ændring af de beregningsmæssige værdier?

I de nuværende vejregler anbefales en højere indkørselshastighed hvis der er mange hurtigkørende knallerter eller cyklister. Der er i denne undersøgelse ikke målt indkørselshastigheder over 10 m/s.

Det kan derfor overvejes at ændre denne anbefaling (note 5), så den beregningsmæssige indkørselshastighed er 10 m/s (over for gående) uanset andelen af knallerter og hurtige cykler.

Passagetider og rømningshastigheder er undersøgt ift. cykeltyper. Det tyder på, at der er mindre spredning på rømningshastighederne for elcykler og mountainbikes sammenlignet med knallerter og racercykler – sidstnævnte vurderes at have højere hastigheder end de øvrige, men der vurderes ikke at være belæg for at skelne mellem cykeltyper.

Længde af gult og rød-gult

I vores nabolande Norge, Sverige og Tyskland regnes med variable gultider og kortere værdier for rød-gult end i Danmark. Kunne det på denne baggrund overvejes at indføre dette i Danmark?

I Danmark anvendes fast 4 sek. gult og 2 sek. rød-gult. Evt. ændringer vil kræve lovændringer (ændring af bekendtgørelser), hvorved de "gamle" (ca. 3.000) signalanlæg risikerer at blive "ulovlige", og der bliver forskel på "nye" og "gamle" anlæg, hvis der indføres variable tider for gult og rød-gult.

Undersøgelsen viser, at trafikanterne som hovedregel udnytter størsteparten af gultiden til passage af stoplinjen. Dvs. at jo længere tid der er gult, desto flere kører over for gult. Dette kunne pege i retning af at passagetiden skulle øges, ift. at opretholde trafiksikkerheden / undgå konflikter.

En hypotese kunne samtidig være, at ved at reducere gultiden ved hastighedsgrænse under 60 km/h fra 4 sek. til f.eks. 3 sek. (som det er praksis i Norge og Tyskland) så vil flere være tilbøjelige til at standse tidligere, hvorved den beregningsmæssige passagetid vil kunne reduceres.

Ift. fastsættelse af gultid kan det overvejes at indføre lavere gultider efter praksis i vore nabolande. Ud over at det muligvis kunne medføre, at færre kører i gultiden, vil kortere gultider evt. kunne frigøre tid til ekstra grøntid eller flere signalomløb.

Undersøgelsen viser, at en stor del af de tidligste trafikanter kører frem allerede under rød-gult. Dvs. at jo længere tid der er rød-gult, desto flere vil være tilbøjelige til at sætte i gang før signalets skift til grønt. Dette kan pege i retning af at afkorte tiden med rød-gult, som det er tilfældet i vores nabolande.

Overvejelser vedr. ændring af gultidens og rød-gultidens længde bør dog i første omgang udføres som forsøg med opfølgende adfærds- og trafiksikkerhedsundersøgelser, inden det kan konkluderes, om evt. fordele ift. trafikafvikling og -sikkerhed står mål med omkostninger ved at ændre gældende regler.

Dynamiske mellemtider

Dynamiske mellemtider er ikke omfattet af denne undersøgelse (adfærdsstudiet). I Sverige og Norge anvendes dynamiske mellemtider i forbindelse med LHOVRA-anlæg, som metode til at reducere spildtid i perioder, hvor der ikke forekommer trafik ved signalskift.

Dynamiske mellemtider kræver imidlertid meget høj detekteringssikkerhed, da det kan blive farligt, hvis mellemtiden bliver for lav pga. detekteringssvigt, hvorfor metoden vurderes at have størst potentiale i trafikstyrede anlæg i åbent land (som ikke er berørt nærmere i undersøgelsen).

Under alle omstændigheder bør metoder til beregning af sikkerhedstider gælde for alle typer af signalanlæg, i tilfælde af at trafikstyringen svigter, eller anlægget sættes i tidsstyring.

Afrunding ved valg af mellemtider

I Norge rundes "vekslingstiden" altid op til nærmeste halve sekund, mens sikkerhedstiden i Tyskland altid rundes op til nærmeste hele sekund.

I Danmark er praksis, at sikkerhedstider regnes med 1 decimal, hvorefter der rundes op til nærmeste hele sekund.

Det er principielt muligt at afrunde sikkerhedstider til f.eks. 10.dele. Da den beregningsmæssige præcision (f.eks. opmåling af konfliktområder) kan variere, er det en fordel med den nuværende praksis, hvor der rundes op til nærmeste hele sekund.

Tilsvarende vurderes en evt. brug af 10.dele ikke at have stor betydning for kapaciteten, med mindre at flere afrundinger tilsammen giver mulighed for enten at forlænge grøntiden eller reducere omløbstiden (og derved anvende den frigivne tid til at øge antallet af signalomløb).

Gældende tommelfingerregel om oprunding til hele antal sekunder kan således bevares, som hovedprincip, med mindre der er store kapacitetsgevinster at hente.

Referencer

Nedenstående er en samlet liste for den anvendte litteratur i forbindelse med projektet, herunder referencer til litteraturstudiet af udenlandske metoder.

Litteraturliste:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *Richtlinien für Lichtsignalanlagen – RiLSA – Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr*, 2010.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *Änderungsblatt zu den Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) – Veränderungen von der Ausgabe 2010 zur Ausgabe 2015 (FGSV 321)*, 2015.

Herrstedt, L. *Dimensionsgivende trafikant – Ganghastigheder*, Trafitec, 2008.

Madsen, T.K., Lahrmann, H., Christensen, P.M., Bahnsen, C., Jensen, M.B. & Moeslund, T.B. *RUBA – Videoanalyseprogram til trafikanalyser*, Trafik & Veje, marts, 2016.

Trafiksäkerhetsverkets föreskrifter om trafiksignaler, Flerfärgssignaler; allmänna föreskrifter, 1989 (TSVFS 1989:55).

Utdrag ur: Vägar och gators utformning, Trafiksignaler, Vegväcket, 2004.

Krav för Vägars och gators utformning, Anläggningsstyrning, 2012.

Krav för Vägars och gators utformning, Anläggningsstyrning, 2015.

Råd för Vägar och gators utformning, Anläggningsstyrning, 2015.

BEK nr. 1193 af 29.09.2016: Bekendtgørelse om vejafmærkning, 2016

BEK nr. 1194 af 21.09.2016: Bekendtgørelse om anvendelse af vejafmærkning, 2016

LBK nr. 38 af 05.01.2017: Bekendtgørelse af færdselsloven, 2017

Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om trafiksignaler, 2014 (TSFS 2014:30).

Trafikksignalanlegg – Tekniske bestemmelser og retningslinjer for anvendelse og utformning (signalnormal), Håndbok N303, 2014.

Trafikksignalanlegg – Planlegging, drift og vedlikehold (veiledning), Håndbok V322, 2014.

Håndbog, Vejsignaler – Anlæg og planlægning, 2013.

Håndbog, Projektering af trafiksignaler – Anlæg og planlægning (høringsudgave), 2017.